Aus der Hals- Nasen- Ohren-Universitätsklinik Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

Das Sprachverständnis als Funktion der Grenzfrequenz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Sven Schiemann
aus Kiel

Marburg 1968

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus der Hals- Nasen- Ohren-Universitätsklinik Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

Das Sprachverständnis als Funktion der Grenzfrequenz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Sven Schiemann
aus Kiel

Marburg 1968

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am: 18. Juni 1968
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan :Prof.Dr.med. R. Siegert
Referent :Prof.Dr.med. G. Beckmann
Correferent:Prof.Dr.med. J. Berendes

Gewidmet

meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

I. 1. Einleitung und Problemstellung 1

2. Literaturübersicht 4

II. Eigene Versuche mit Frequenzbeschneidung ..12

1. Versuchsanordnung 15

2. Versuchsergebnisse 16

3. Graphische Darstellung und Auswertung 16

III. Messungen im freien Schallfeld bei Zumischung von Hintergrundgeräusch 21

1. Versuchsanordnung 21

2. Versuchsergebnisse 23

3. Graphische Darstellung und Auswertung 23

IV. Diskussion 25

Zusammenfassung 28

Literaturverzeichnis 30

I.1. Einleitung und Problemstellung

Früher wurden die Gehörlosen als mit den Dementen auf einer Stufe stehende Geistesgestörte angesehen. Dies änderte sich, als man die Beziehungen zwischen Gehör und Sprache zu erkennen begann, insbesondere die überragende Bedeutung des Gehörsinnes für die natürliche Aneignung der Sprache, dem entscheidenden Kommunikationsmittel und Voraussetzung jedes höheren Geisteslebens.

Mit zunehmendem Erfolg entwickelte man gehörver - bessernde Operationen. Vor allem die Methodik vervoll - kommnete sich. Der erste verwirklichte Schritt war die Fensterungsoperation. In den letzten Jahren konnten bei Schalleitungsschwerhörigkeit Verbesserungen durch Steigbügelmobilisation und Steigbügelfußplattenplastik er - zielt werden. Vielen Patienten hilft eine Tympanoplastik.

Grosse Bedeutung haben die elektrischen Hörapparate gewonnen. Die Verwendung von Transistoren im Verstärker - teil macht sie sehr klein und die technische Verbesserung der Schallwandler akustisch hochwertig. Mit Hilfe solcher Geräte lassen sich sehr viele Schwerhörigkeiten befriedigend kompensieren.

Der Kreis der Ohrgeschädigten weitet sich ständig. Einiges trägt die Motorisierung mit den damit verbundenen Schädeltraumen bei. Hinzu kommen angeborene Schädigungen, degenerative Innenohrerkrankungen und vor allem die immer häufigeren Lärmtraumen.

Der Hörverlust dieser Patienten betrifft vorwiegend die hohen Töne. Deren elektiver Ausfall führt aber nicht zu einer allgemeinen Schwerhörigkeit, sondern, wie BRÜNINGS und PERWITZSCHKY(6) es ausdrückten, in erster Linie zu einer "Fehlhörigkeit", da es aufgrund des Fehlens der hohen Frequenzen zu einer klanglichen Veränderung und Entstellung der Sprache kommt. Der Patient "hört" zwar, "versteht" aber nichts.

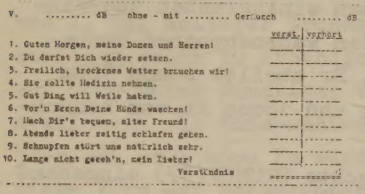
Während bei einer Schalleitungsschwerhörigkeit die Aussichten auf dauernde Heilung durch Operation oder Ausgleich durch Hörgerät günstig beurteilt werden, bleibt der

operativen Behandlung ein Erfolg bei Schallempfindungs - schwerhörigkeit versagt (36). Mit Hörapparaten erreicht man bei Innenohrschwerhörigkeit am ehesten eine Besserung, wenn der Hörverlust alle Frequenzen gleichmäßig betrifft. Es stehen Breitbandhörgeräte zur Verfügung mit einem Wiedergabebereich bis herauf zu 6000 Hz. Ungleichmäßige Schwerhörigkeiten durch Schädigungen des Cortischen Or - gans kann man bisweilen mittels selektiver Verstärkung einzelner Frequenzbereiche substituieren.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, wie sich das Sprachverständnis als Funktion der Grenzfrequenz verhält, d.h. wie sich eine durch Wegfiltern von oberen bzw. unteren Frequenzen verringerte Frequenzband - breite auf das Erkennen der einzelnen Spracheinheiten auswirkt. Neben Einsichten für die Verbesserung der Hör - fähigkeit ergaben sich auch rein praktisch verwertbare Hinweise für die Nachrichtentechnik, Wiedergabeeigen - schaften von Plattenspielern und Tonbandgeräten etc.

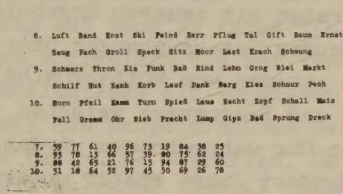
Wir bedienten uns der sprachaudiometrischen Untersuchungstechnik. Dabei dienen als Prüfmaterial standardisierte, auf Tonträger (Magnettonband oder Schallplatte) konservierte Sprachteste. Die Sprachaudiometrie besitzt gegenüber der Hörprüfung mit lebender Sprache wesentliche Vorteile, insbesondere werden die Fehlerquellen der sog. klassischen Sprachabstandsprüfung umgangen, wie HAHL - BROCK (14,15) ausführlich dargelegt hat. Die vormals sehr verschieden vorgenommenen Prüfungen mit Umgangs- und Flüstersprache ergaben nämlich wegen methodischer Eigenarten bei der Durchführung voneinander abweichende Werte, die auch keinen Vergleich erlaubten. Die Sprach - audiometrie umgeht die wechselnde Sprachlautstärke, Deutlichkeit und Wortwahl mehrerer Sprecher, und Umgebungs - geräusche und uneinheitliche Akustik stören in kleinen schallgedämpften Prüfräumen mit geringer Nachhallzeit nicht mehr. Den Abstand zwischen Prüfer und Prüfling ersetzt ein in dB geeichter Pegelverstärker, mit dem man das Testmaterial dem Probanden über Lautsprecher oder

Kopfhörer anbietet.Von den verschiedenen Sprachprüftesten hat sich in Deutschland der "Freiburger Sprachverständnistest" von HAHLBROCK (15,16) bewährt.Wir zogen ihn auch für unsere Untersuchungen heran, ergänzt von dem von NIE - MEYER und BECKMANN(31) aufgestellten"Marburger Satzverständnistest".Alle Teste hat derselbe Sprecher auf Band gesprochen, sodaß ein homogenes Material entstanden ist. Die Prüfkataloge seien hier kurz angeführt:



V. ..... dB ohne - mit ..... Geräusch ..... dB

	Versuch	Vergleich
1. Guten Morgen, meine Damen und Herren!		
2. Du darfst Dich wieder setzen.		
3. Freilich, trockenes Wetter brauchen wir!		
4. Sie sollte Medizin nehmen.		
5. Gut Ding will Weile haben.		
6. Vor'm Essen Deine Hände waschen!		
7. Mach Dir's bequem, alter Freund!		
8. Abends lieber zeitig schlafen gehen.		
9. Schnupfen stört uns natürlich sehr.		
10. Lange nicht gesehn, mein Lieber!		
Verständnis		



6.	Luft	Band	Kost	Ski	Feind	Herr	Pflug	Tal	Gift	Baum	Kraut
	Zeug	Fach	Groll	Speck	Sitz	Moor	Last	Krach	Schwung		
9.	Schmerz	Thron	Eis	Funk	Ball	Kind	Lehm	Grog	Blei	Markt	
	Schiff	Hut	Rank	Korb	Lauf	Dank	Berg	Kies	Schnur	Pech	
10.	Horn	Pfeil	Kamm	Turm	Spieß	Laus	Recht	Kopf	Schall	Mais	
	Fall	Gramm	Ohr	Sieb	Frucht	Lump	Gips	Bad	Sprung	Dreck	

7.	29	77	61	40	26	73	19	84	38	25
8.	93	78	13	42	57	39	80	75	62	24
9.	86	48	65	21	74	15	94	87	29	60
10.	31	18	84	52	97	45	30	69	26	78

Abb.1 Sätze Einsilber und Zahlen

Der leicht verständliche Zahlentest dient dazu, den Probanden in die sprachaudiometrische Untersuchungsmethodik einzuführen. Er ist auch darum wichtig, weil man in den Fällen von mit an Taubheit grenzender Schwerhörigkeit oft nur mit ihm verwertbare Meßwerte erhält(15). Es handelt sich um zweistellige Zahlen von 13 bis 99, in zehn phonetisch ausgewogenen Gruppen angeordnet. MARX(26) gibt an, daß die Zahlen von 1 bis 12 gegenüber den anderen durchweg zwei-oder dreisilbigen zu sehr aus dem Rahmen fallen und nicht geprüft werden sollen.

Der Sprachverständlichkeitstest setzt sich aus 4oo einsilbigen Hauptwörtern - in Zwanzigergruppen angeordnet - zusammen. Die lautlichen Bestandteile der Gruppen sind annähernd gleich. Die Wörter enthalten jedocn relativ mehr Konsonanten als die Zahlen und Sätze.Die phonetischen und lautstatischen Gesichtspunkte, welche zum Aufbau des Einsilbertestes geführt haben, finden sich bei HAHLBROCK(14) im einzelnen erläutert.

Der verwendete Satztest umfaßt 8o Sätze mit je 4 bis 6 Wörtern, unterteilt in acht phonetisch ausbalancierte Zehnergruppen(31). Im Inhalt und Schwierigkeitsgrad sind die einzelnen Satzgruppen einander gleichwertig.

Mit solchen Verfahren ist es heute möglich, exakte und vergleichbare Messungen des Sprachgehörs bzw.Sprachverständnisses durchzuführen.

2. Literaturübersicht

Die ersten mit neueren Ergebnissen einigermaßen übereinstimmenden Untersuchungen über den wahrnehmbaren Tonbereich stammen von WOLLASTON(43). Er stellte schon 182o fest, daß Frequenzen zwischen 3o und 18ooo Hz vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden.

Hundert Jahre später untersuchte STUMPF(37) eingehend mit Interferenzröhren die Frequenzbeschneidung der Sprache und Sprachlaute. Dank einer sehr ausgedehnten Anlage konnte er mit hinreichender Genauigkeit Bestimmungen, die hauptsächlich der Lauterkenntnis gelten, vornehmen. Er gab an, welche Formantbezirke für das Verständnis notwendig, welche von geringerer Bedeutung sind. Nach STUMPF fällt die kritische obere Grenzfrequenz in die Gegend des A-Formanten bei etwa 1ooo Hz.Nach weiterer Höhenabfilterung werden die Laute zum grossen Teil unverständlich.Sinnbildende Sätze bleiben dagegen auch dann verständlich, wenn wesentliche Lautbestandteile unkenntlich geworden sind. BEZOLD(2,3) hielt den Bereich von 396 bis 792 Hz für ganz besonders bedeutungsvoll und schrieb daher von einer "Sprachsext". Dieses Gebiet enthält den A-Formanten, der als Bestandteil eines wichtigen Vokals eine Schlüsselstellung innehaben soll.

Weitere Hinweise lieferte die Beschäftigung mit der Telefonie, da besonders die Überleitung hoher Frequenzen Schwierigkeiten bereitete. Hier sind HERMAN(16) und WIEN (41) zu nennen. Letzterer konstruierte 19o3 einen Meßapparat, um erstmals die Hörschwelle im Frequenzbereich von2oo - 16oo Hz genauer zu bestimmen.

DEVAUX-CHARBONNEL (7) fand die zur Sprachübertragung

unentbehrlichen Frequenzen bei 800 bis 1200 Hz.

Später überprüfte BRÜNINGS(5,6) die von STUMPF beschriebenen Interferenzversuche mittels Frequenzfilterung durch Siebketten, bestehend aus einer Kombination von Kondensatoren und Spulen. Er konnte 1926 anläßlich der VI. Jahresversammlung der Gesellschaft Deutscher Hals-Nasen- und Ohrenärzte in Hamburg zeigen, wie ein Schwerhöriger Klänge und Sprachlaute wahrnimmt: Es kommt nach Beschneidung der hohen Frequenzen bis auf 5000 Hz zu einer deutlichen Verdunkelung namentlich der vokale E und I. Bei weiterer Drosselung auf 3000 Hz führt die Entstellung schon zu erheblichen Hörfehlern, die bei 1500 Hz nur noch unter günstigen Verhältnissen ein Verstehen ermöglichen. Die Konsonanten mit den Hauptformanten bei 1000 bis etwa 4500 Hz werden besonders betroffen. Da diese Form der Schwerhörigkeit aufgrund Fehlens gerade der hohen Frequenzen zur Folge hat, daß das Gesagte qualitativ verändert wird, erwähnt er sie als "Fehlhörigkeit" im Gegensatz zur "Unterhörigkeit" der Mittelohrschwerhörigen.

FLETCHER(9) gab 1929 einen Überblick auf die Lage der Hauptformanten der englischen Sprache. Er prüfte die Verständlichkeit sowohl der einzelnen Vokale und Konsonanten als auch die der Silben. Elektrische Filter mit Kondensatoren und Spulen sorgten für Frequenzbeschneidung. Auf Abb.2 ist die Abnahme der Verständlichkeit nach Drosselung der Frequenzen von oben bzw. von unten her abzulesen. Filterte er die unterhalb 500 Hz gelegenen Sprachfrequenzen (Hochpaß) aus, erreichte die Silbenverständlichkeit immerhin 98%, obgleich die Sprachenergie auf 40 % gesunken war. 20 % Sprachenergie ermöglichen bei 1000 Hz unterer Grenzfrequenz noch ca. 87 % Verstehen.

Anders verhielten sich die Beziehungen zwischen Energie und Verständlichkeit bei Höhenabfilterung (Tiefpaß). Diese verursachte oberhalb von 2000 Hz nur einen weniger als 15 % betragenden Energie- und Verständlichkeitsverlust. Beim Herabsetzen der oberen Grenzfrequenz von 2000 Hz auf 1000 Hz sank das Verstehen von 75 % auf

4o % ,die Energie nur von 92 % auf 85 %.Eine weitere Energieeinbuße um 2o % verhinderte praktisch die Erkennbarkeit des Testmaterials.

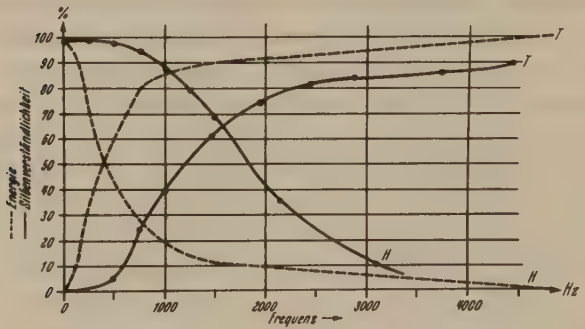


Abb.2 Silbenverständlichkeit und Sprachenergie als Funktion der oberen bzw.unteren Grenzfrequenz. T = Tiefpaß = Höhenbeschneidung; H = Hochpaß =Tiefenbeschneidung.

FLETCHER schließt daraus, daß für eine günstige Sprachaufnahme die Schwingungen von 1ooo bis 5ooo Hz zugeleitet werden müssen. Die Beeinträchtigung der Silbenverständlichkeit sei wesentlich bedingt durch Ausschluß der über 25oo Hz gelegenen Frequenzen.

1950 beschrieb FLETCHER eine Methode zur Berechnung des Sprachverständnisses aus dem Audiogramm(1o).

WAGNER (38) nahm die Sprache mit einem Mikrophon auf, in dessen elektrischen Strömen er gewisse Frequenzen durch einen vorgeschalteten Kettenleiter drosselte. Nach seiner Meinung reichen für eine Fernsprechverbindung die Frequenzen bis 3ooo Hz. Erst ab 223o Hz beginne die Verständigung zu leiden, sei ab 159o Hz "nebelhaft" schlecht und werde dann sehr schnell unzureichend.Das S und CH seien bereits an der oberen Grenze von 47oo Hz stark abgestumpft. Daraus folgerte er, daß das gesamte Band von 1oo bis 1oooo Hz notwendig sei,

um alle Spracheinheiten zu erfassen. Es könne aber auf den Tonbereich oberhalb von 4ooo Hz ohne gravierende Qualitätseinbuße verzichtet werden.

Dagegen vertritt MEYER (3o) die Auffassung, die hohen Frequenzen seien zwar entbehrlich, wie die Telephonie beweise, ein leichtes und sicheres Verstehen komplizierter Texte erfordere aber die Übertragung bis 8ooo Hz.

Nach WAGNERs Untersuchungen(38) verursacht ein Senken der oberen Grenzfrequenz typische Vokalveränderungen. Das E beginne bei 318o Hz zu Ö überzugehen.Nach fortgesetzter Ausfilterung bis 223o Hz habe sich das E in ein reines Ö verwandelt, das I zu Ü. Im Tonbereich nur unterhalb von 143o Hz sei das Verstehen sehr schwierig, aus E sei O, aus dem I ein U geworden.Ab 4oo Hz schließlich bleibe von allen Vokalen nur ein dumpfes Ü übrig. Abweichend behauptet FLETCHER(9), daß der lange und helle Vokal I(wie in team) in 97% der Fälle verständlich bleibt, wenn alle Frequenzen unter und über dem Ausschnitt von 1ooo bis 15oo Hz gelöscht werden.

BERENDES und NIEMEYER(1) demonstrierten anhand einer Schallplatte über Audiometrie, Schwerhörigkeit und Hörgeräteanpassung, daß bei einer künstlich erzeugten Innenohrschwerhörigkeit durch Aussieben der hohen Frequenzen über 5oo Hz Testwörter und-sätze nicht mehr zu erkennen sind, nur ein Teil der zweistelligen Zahlen bleibt "erratbar".

In jüngster Zeit berichteten LEHISTE und PETERSON (24) über die Erkennbarkeit gefilteter Vokale. Ihre Werte stimmen jedoch nicht mit FLETCHERs überein. SIEDLER(35) schnitt mit dem Vokoder einzelne Frequenzbänder aus einem Sprachbereich von 3oo bis 5ooo Hz aus. Auffallend ist die beträchtliche Verständlichkeitsminderung infolge Fortlassens der tiefen Frequenzen, was sich aus der Lage einer Reihe wichtiger Formanten in diesem Bereich erklärt. SIEDLER hält das Band bis 13oo Hz für besonders anfällig. Die absinkende Verständlichkeit

bei Fehlen der Frequenzen von 3ooo - 5ooo Hz hängt mit der Bedeutung zusammen, die die stimmlosen Laute für die deutsche Sprache haben.Nach Höhenbeschneidung fand er bei 2ooo Hz noch 93 % Verständlichkeit, bei 1ooo Hz 84% und an der oberen Grenze von 5oo Hz 67 %.

V.ESSEN(8) gibt Werte an, die stark von SIEDLERs Ergebnissen abweichen. Wenn die Hörstörung sich in einer Unempfindlichkeit gegen die tiefen Frequenzen zwischen 1o und 8oo Hz äußert, so leide die Aufnahmefähigkeit für Gesprochenes noch nicht wesentlich,da die Hauptformanten der meisten Laute im Bereich über 8oo Hz zu finden seien.Werden Frequenzen über 8oo Hz nicht gehört, bleiben auch die meisten Hauptformanten der Sprache unerkannt. Der Patient verstehe weder wort noch Rede einwandfrei.

WINCKEL(42) kam bei isolierter Darstellung der Terz zwischen 64o und 8oo Hz auf 9o % Zahlen- und 5o% Einsilberverständnis.

BOCCA(4) leitete die Sprache durch ein Tiefpaßfilter von etwa 1ooo Hz oberer Grenzfrequenz mit nur mäßiger Flankensteilheit. Von den sinnvollen zweisilbigen Wörtern erkannten Normalhörende unter dieser Bedingung 6o bis 8o %.

HUIZING und Mitarbeiter(19-22) entwickelten für qualitative Messungen die Tripletaudiometrie. Ihre Bedeutung beruht auf der prognostischen und diagnostischen Klärung von Hörschäden, vorwiegend bei der selektiven Anpassung von Hörgeräten .Sie zerlegten den Hörbereich der holländischen Sprache mittels elektrischer Filter in drei Frequenzbänder. Die Filtersteilheit war hierbei allerdings geringer als in BOCCAs Anordnung, sodaß Frequenzen bis nahezu 5ooo Hz noch übertragen wurden, allerdings entsprechend abgeschwächt. Wie Abb.3 zeigt, enthält das erste Frequenzband die Baßsprache mit Komponenten unter 1ooo Hz(G= zona gravis),Die Bandbreite sollte aber ungefähr 9oo Hz erreichen, damit die gefilterte Sprache verständlich wird.Der mittlere Bereich (M= zona media) sollte sich zumindest über eine Oktave erstrecken (9oo-18oo Hz), um dem normalen Ohr erkennbar zu werden .

Die Diskantsprache, bei welcher nur Frequenzen über 2ooo Hz übertragen werden (A= zona acuta),bedarf eines Bereiches von zwei Oktaven, 18oo - 75oo Hz. Jedes der drei Bänder beinhalte noch ausreichend Energie und Information für das normale Ohr.

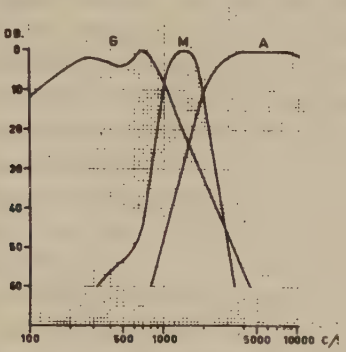


Abb.3 Tripletaudiometrische Frequenzbänder nach HUIZING

Bei ähnlicher Versuchsanordnung fanden QUIST-HANSEN und STRÖMSNES(33) bei gesunden und hirngeschädigten Versuchspersonen im Alter von 19 bis 28 Jahren Folgendes: Das Einsilberverständnis bleibt nach Höhenbegrenzung auf 2ooo Hz noch mit 93 $\pm$ 21/2 %, bei 15oo Hz mit 74 $\pm$ 4,4 % und bei 1ooo Hz mit 66 $\pm$ 4,9 % erhalten.Auch hier waren Verfälschungen durch Mithören höherer Schallanteile nicht ganz zu vermeiden.

MATZKER(28,29) siebte aus der Sprache ein Tiefpaßband von 5oo-8oo Hz und ein Hochpaßband von 15oo-24oo Hz, die, jedes für sich ,keine oder nur eine geringe,zusammen aber eine fast 1oo%ige Verständlichkeit für Normalhörende ergaben.

LIDEN und FANT (25) veröffentlichten ein Schema der maximalen Einsilberdiskrimination im Schwedischen in Abhängigkeit vom Hochtonverlust. Danach bleibt die Verständlichkeit nahezu völlig erhalten, wenn der Hörverlust nicht unter 2ooo Hz sinkt .Durch Drosselung auf 1ooo Hz steigt der Diskriminationsverlust bis 5o %.

Nach FOWLER und SABINE (11,34) spielen diese mittleren Frequenzen von 1ooo - 2ooo Hz mit entsprechend 3o % und 4o % die wichtigste Rolle hinsichtlich des Sprachverständnisses. Mit je 15 % sollen außerdem die Frequenzen 5oo und 4ooo Hz beitragen.

Mit benachbarten Werten rechnet auch MASPETIOL(27), nach dessen Ansicht der entscheidende Bezirk um 15oo Hz liegt. Er spricht den tiefen Frequenzen bis 5oo Hz eine ähnliche Bedeutung zu wie denen über 2ooo Hz.

Nach einer Aufstellung betreffend den Anteil der einzelnen Frequenzen an der Spracherkennung sieht WEDENBERG(39,4o) ebenfalls in dem Abschnitt von1ooo-2ooo Hz das Hauptgebiet.Diesem schmalen Ausschnitt des ganzen Frequenzbereiches von 125 -8ooo Hz entsprechen 26 bis 3o % des Gesamtverständnisses.Als charakteristische Kriterien der Lauterkennung dienen ihm die beiden unteren, in den Bereichen von 25o - 7oo Hz und 6oo -2200 Hz zu suchenden Formanten.Die wichtigsten Formanten für die Konsonantenerkennung befinden sich nach WEDENBERG im wesentlichen oberhalb der 1ooo-Hz-Grenze.

KAINZ (23) meint, Ausfiltern der über 4ooo Hz gelegenen Schallteile schädige das Sprachverständnis nicht, obgleich das S eine merkliche Abstumpfung erfährt.So - gar bei weniger als 2oo Hz soll man noch, wenn auch schlecht, verstehen können.

HAHLBROCK (14) setzt die Grenze mit 25o Hz an.Allerdings sei nur leicht aufnehmbares und gut zu kombinierendes Testmaterial, wie zweistellige Zahlen, bei dieser oberen Grenzfrequenz teilweise verständlich.

HIRSH,REYNOLDS und JOSEPH (18) wiesen ebenfalls auf die Bedeutung der benutzten Spracheinheiten hin.Sinnbildende Wörter bleiben während zunehmender Frequenzbeschneidung um so besser verständlich, je mehr Silben die Wörter aufbauen.Bezüglich Logatomen näherten sie sich FLETCHERs Ergebnissen. HIRSH (17) möchte außerdem die Einstellung des Probanden zur Untersuchung beachtet wissen.

OEKEN (32) hat sich eingehend mit der Verschlechterung des Sprachverständnisses nach Aussieben der hohen

Frequenzen beschäftigt. Seine Untersuchungen sollten gleichzeitig feststellen, inwieweit die Abnahme der Lauterkennung bei schrittweisem Ausfiltern der oberen Töne mit der Formanttheorie, insbesondere der Vokale, über - einstimmt. Das Prüfungsmaterial war eine Kopie des Freiburger Testbandes aus Zahlen und Einsilbern,die Probanden waren Normalhörende. Die Flankensteilheit seines umschaltbaren Tiefpaßfilters wurde korrigiert, indem OEKEN die Testsprache zweimal durch einen Filtersatz leitete ,so-daß tatsächlich nur der gewünschte Frequenzbereich zu hören war.Die Wiedergabe erfolgte durch einen hochwertigen Lautsprecher mit 8o dB Lautstärke.Die Prüfung des Zahlen- und Einsilberverständnisses führte zu unterschiedlichen Ergebnissen.Die Zahlen waren gegen Höhenbeschneidung wenig empfindlich. Sie wurden trotz Drosselung auf 1ooo Hz nahezu vollkommen erkannt und blieben selbst bei einer oberen Begrenzung von 63o Hz zum großen Teil verständlich. Als anfälliger erwiesen sich hingegen die einsilbigen Hauptwörter. Schon bis 4ooo Hz erlitten sie Diskriminationsverluste von 2o %. Die Silbenverständlichkeit sank erst um 25oo Hz merklich ab.Bei 16oo Hz wurden von beiden noch ca. 4o % wahrgenommen,ging man um weitere 6oo Hz herunter,so blieb ein 15%iges Restverständnis.Sinnlose Silben behaupteten sich besser als Hauptwörter.Der steilste Abfall im Verstehen schwieriger Aufgaben lag zwischen 25oo und 16oo Hz.

Ein Vergleich der mit dem Freiburger Zahlentest erhaltenen Werte mit den Ergebnissen HAHLBROCKs zeigt eine gute Übereinstimmung.Er stellte an der oberen Grenze von 25o Hz noch teilweises Verständnis fest.Dagegen sind die Abweichungen gegenüber FLETCHER erheblich bezüglich der Einsilber, deren Verständniskurve,wie die von QUIST-HANSEN und STRÖMSNES,sehr viel höher ver - läuft. Auch waren, entgegen Angaben in der Literatur, die Einsilber schwerer zu erkennen als Einzelsilben . OEKEN führt diesen Umstand auf die an sich schon nicht einfachen deutschen einsilbigen Hauptwörter zurück,wo-

bei auch die relative Seltenheit einiger Wörter mitspiele. Hinzu käme die unzureichende Flankensteilheit der Filter. Nicht zuletzt ist im Hinblick auf die stark differierenden Befunde von FLETCHER und OEKEN auf die Verbesserung der elektroakustischen Untersuchungsmethoden in den 3o Jahren, die zwischen den Untersuchungen beider liegen, hinzuweisen.

Höhenbeschneidung greift zuerst die Konsonanten an; entschiedenes Mißverstehen trat aber erst ein, sobald der Hörverlust unter 4ooo Hz reichte. Die entsprechende Grenzfrequenz der Vokale war 25oo Hz.OEKEN nimmt deshalb an, daß 4ooo Hz für das Sprachverständnis ausreichen.FLETCHER hatte 5ooo Hz genannt.

II. Eigene Versuche mit Frequenzbeschneidung

1. Versuchsanordnung

Unsere eigenen Versuche galten dem Sprachverständnis als Funktion der oberen und unteren Grenzfrequenz.Zu dem Zweck ergänzten wir eine Kopie des auch von OEKEN verwendeten Freiburger Sprachtestes durch den Marburger Satzverständnistest, der 8o Sätze enthält,je 1o zu einer Gruppe zusammengefaßt.Jeder Satz baut sich aus 4 bis 6 allgemein bekannten Wörtern auf.

Dieses etwas verschiedenartige, innerhalb der Einheiten phonetisch ausgewogene Testmaterial wurde von demselben Rundfunksprecher unter konstanten Bedingungen auf Tonband gesprochen , was eine einheitliche Qualität garantierte. Mit Intervallen von etwa 3 sec wurden die einzelnen Wörter und Zahlen aufgenommen.Die Sätze folgten einander in je 5 sec. Das Ablaufen einer ganzen Satzgruppe benötigte 7o bis 8o Sekunden.

Wir machten 15oo Messungen an 5o Normalhörenden beiderlei Geschlechts im Alter zwischen 2o und 3o Jahren,

von denen vorher keiner an solchen Tests beteiligt war.

Die Untersuchungen fanden in einem schallgedämpften Raum statt. Bodenfläche 3,4o m x 3,o m, Höhe 3,7o m. An drei Wänden sorgten Sillan- Akustikplatten für Schalldämpfung. An der Türseite hing ein schwerer Vorhang. Den Fußboden bedeckte ein dicker Sisal-Teppich.

Ein PHONAK-Stereo-Universal-Sprachaudiometer mit eingebautem REVOX-Tonbandgerät, Stereomodell E 36, zum Abspielen der Tonbänder gab das Testmaterial wieder. Weitere Teile der Anlage waren ein Verstärker mit 6 Watt Ausgangsleistung, drei Eichregler, zwei dB-Regler, Kopfhörer und Lautsprecher. Der Frequenzgang über Band betrug bei 19 cm/sec Bandgeschwindigkeit 4o-15ooo Hz. Ein Laufwerk aus drei mechanisch unabhängigen Motoren leistete den Antrieb. Das hierbei entstehende leise Brummgeräusch beeinträchtigte das Untersuchungsresultat bei Kopfhörerbenutzung nicht, nur empfanden es einige Probanden bei leiser Stimme aus dem Lautsprecher als störend. Der zusätzliche Verstärker im PHONAK-Meßpult war der PETERS-Audiometer SPD/5 mit einer Frequenzwählscheibe bis 12ooo Hz, zwei dB-Skalen und Eicheinrichtung. Vor jeder Untersuchung wurde eine Eichung unter gleichzeitiger Benutzung der Frequenzwählscheibe und der dB-Skala am Tonaudiometer SPD/5 vorgenommen. Blieb der Zeiger des Audiometerpegelinstrumentes innerhalb des mittleren grünen Feldes, war eine hinreichende Genauigkeit des Ablesewertes gewährleistet.

Vor jeder Untersuchung versicherten wir uns des vollständigen Tongehörs des Probanden mit dem Tonaudiometer über Kopfhörer TELEPHONICS TDH 39.

Der umschaltbare Hoch-und Tiefpaßfilter (Wandel und Goltermann, Typ HTP 8o78) wurde an die PHONAK-Sprachaudiometeranlage gekoppelt. Die gefilterte Sprache konnte nach Passieren eines Verstärkers dem Probanden über Kopfhörer (BEYER DT 48) oder einem guten Lautsprecher zugeleitet werden. Die Frequenzwählscheibe des Audiometers SPD/5 war eingestellt auf "Knochenleitung 1ooo Hz"

Nachfolgend die Flankensteilheit der elektrischen Filter:

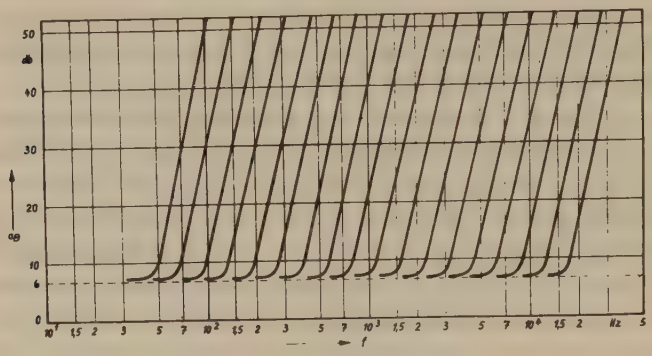


Abb.4 Flankensteilheit der benutzten Filter

Gerade die Flankensteilheit ist bei einer künstlich erzeugten Hoch- und Tieftonschwerhörigkeit von großer Bedeutung,um möglichst zuverlässig benachbarte Schallanteile zurückzuhalten.

Ein anderer wichtiger Faktor ist die Grunddämpfung (6 dB) der Filter, da mitbestimmend für die Lautheit der beschnittenen Sprache.Die Lautstärke blieb während der Versuche auf 5o dB nach Abzug der Grunddämpfung eingestellt.Unter diesen Bedingungen erkannte ein Normalhörender bei ausgeschalteten Filtern (aber wirksamer Grunddämpfung) per Kopfhörer (BEYER DT 48) alle Einsilber.Das laufende Frequenzband veränderten wir nur an einer Frequenzgrenze, die andere blieb konstant bei 4o Hz oder 15ooo Hz.

Eingangs wählten wir eine Grenzfrequenz, die es dem Prüfling gestattete, den einleitenden Text gut zu verstehen.Er wurde aufgefordert, vom Vorgesprochenen all das zu wiederholen, was er verstanden zu haben meinte. Dem Zahlen- und Einsilbertest folgte der Satzverständnistest.Um ein allmähliches Sicheinhören zu verhindern, schalteten wir die einzelnen Grenzfrequenz in unregelmäßiger Folge, bis weniger als 1o % wiedergegeben wurden.

Jedes Wort hatte eine Wertigkeit von 5 %. Es ergaben somit 2o aufgefaßte Wörter eine 1oo%ige Einsilberverständlichkeit. Bei Sätzen kamen auf jedes Einzelwort 2 %. Nur verhörte Einzelwörter im Satztest wurden mit 1 % verrechnet.

Im Folgenden seien die gewonnenen Mittelwerte bei Hoch- und Tiefpaß und die entsprechenden Kurven aufgezeichnet. Die Mittelwerte wurden nach der üblichen Formel bestimmt:

$\bar{x} = \sum(x) : n$, wobei n = Zahl der Einzelwerte. Die Standardabweichung $s = \sqrt{s^2}$ aus der Streuung $s^2 = \frac{\sum(x)^2 - \bar{x} \sum x}{n - 1}$

2. Versuchsergebnisse

		Hz	8000	5600	4000	2800	2000	1400	1000	710	500	355	250
EINSILBER		%-Verständnis			0,5	14,6	31,7	49,2	62,0	76,2	86,4	93,8	100
		s			1,5	12,5	8,9	10,6	11,2	13,4	9,3	5,2	0
ZAHLEN		%-Verständnis	0	4,5	38,0	54,1	76,0	97,2	100				
		s		14,4	15,3	20,4	17,3	4,0	0				
	mit Verhören			9,8	55,5	71,6	83,4	99,4					
		s		4,7	15,2	12,3	16,1	1,2					
SÄTZE		%-Verständnis		1,2	32,7	72,9	90,4	97,0	99,9				
		s		3,7	10,2	7,8	8,9	2,4	0				

Das Verständnis von Sätzen, Zahlen und Einsilbern bei Hochpaß = Tiefenbeschneidung

	Hz	5600	4000	2800	2000	1400	1000	710	500	355	250	180
EINSILBER	%-Verständnis	98,8	89,4	77,5	66,4	57,7	49,2	34,2	19,6	5,0		
	s	2,4	7,8	6,2	7,5	7,1	9,3	6,8	7,6	3,9		
ZAHLEN	%-Verständnis						100	99,0	93,6	69,6	36,7	7,2
	s						0	1,8	10,8	7,7	12,3	8,9
	mit Verhören							100	95,4	83,4	49,6	12,0
	s								8,2	6,7	17,8	16,3
SÄTZE	%-Verständnis			100	99,2	96,4	91,2	83,2	72,2	42,4	8,9	0
	s				2,6	3,8	3,7	3,1	6,4	11,8	6,9	

Das Verständnis von Sätzen, Zahlen und Einsilbern bei Tiefpaß = Höhenbeschneidung

3. Graphische Darstellung und Auswertung

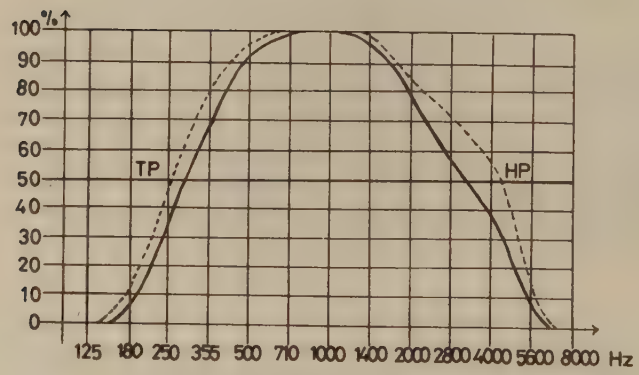


Abb.5 Das Verständnis der zweistelligen Zahlwörter als Funktion der oberen (TP) und unteren (HP) Grenzfrequenz. ----------=mit Verhören

Zahlwörter: Wie ein Vergleich der Abbildungen 5 und 6 zeigt, sind die Zahlwörter gegen Frequenzbeschneidung am widerstandsfähigsten.

Tiefpaß: Trotz Aussiebens der hohen Frequenzen bis hinab auf 7oo Hz bleibt das Zahlenverständnis 1oo%ig erhalten. Selbst bei 355 Hz werden mit Verhörrate noch 85 % richtig erkannt. Danach sinkt das Verständnis einschließlich "Verhören" pro Halboktave um 35 % ab und beträgt bei 18o Hz weniger als 1o %.

Hochpaß : Für Hoch-und Tiefpaß liegt das Verständnismaximum bei 1ooo Hz. Bis hierher kann man ohne bedeutsame Folgen die tiefen Frequenzen ausfiltern. Noch bei einer unteren Grenze von 14oo Hz wurden mehr als 9o % der Zahlwörter verstanden. Eine fortschreitende Ausfilterung läßt die Verständlichkeit um annähernd 5o % pro Oktave sinken; oberhalb von 56oo Hz wird nichts mehr richtig aufgefaßt. Mit Verhörrate liegt die Verstehenskurve bis 45oo Hz deutlich höher als ohne und erreicht schließlich eine Differenz von nahezu 15 %. Nach Änderung des Verlaufes kommt es unter steilem Abfall wieder zu einer Annäherung beider Kurven.

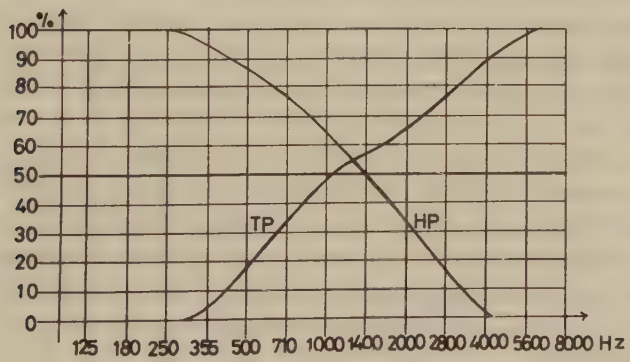


Abb.6 Das Verständnis der einsilbigen Hauptwörter als Funktion der oberen(TP) und unteren(HP) Grenzfrequenz

Einsilbige Hauptwörter: Anders verhalten sich die Einsilber, was sich in dem flachen, über vier Oktaven erstreckenden Kurvenverlauf ausdrückt.Ähnliches kennen wir aus den Sprachaudiogrammen Innenohrschwerhöriger . Während die Punkte maximaler Verständlichkeit von Zahlen und einsilbigen Hauptwörtern durch drei Oktaven voneinander getrennt sind,liegen zwischen den Punkten absoluter Unverstehbarkeit nur eineinhalb.Die Kurven für Hoch- und Tiefpaß schneiden sich bei 12oo Hz und 55 % Verständlichkeit.

Tiefpaß: Setzen wir die obere Grenzfrequenz auf 6ooo Hz herab, finden wir noch volles Verständnis.Bei 4ooo Hz macht der Diskriminationsverlust bereits 1o % aus.Ein weiteres stufenweises Senken der oberen Grenzfrequenz verursacht pro Halboktave rund 15 % Einbuße an Verständlichkeit.Diese beträgt bei 1ooo Hz 5o %, bei 355 Hz noch 5 %.Schon die geringe Einschränkung von 6ooo Hz auf 4ooo Hz beeinträchtigt die Konsonantenverständlichkeit durch Verwechslung einzelner Buchstaben, besonders am Wortanfang und -ende. Häufiger betroffen werden S und SS,die für T,TZ oder ST gehalten werden.F am Wortanfang gab man oft als H wieder.Z.B. Feind als Heinz.Vokale wurden im allgemeinen erst unterhalb 2ooo Hz verwechselt oder ausgelassen, obwohl auch hier in erster Linie Konsonanten für das "Fehlverstehen" verantwortlich sind.

Hochpaß: Tiefenbeschneidung bis zur unteren Grenze von 25o Hz bleibt ohne Schwächung des Verständnisses. Bis 355 Hz beobachteten wir nur 6 % Hörverlust. Bei 5oo Hz erreicht er 14 %. Von dieser unteren Grenzfrequenz führt jede weitere Oktave zu einem 3o%igen Diskriminationsverlust. Besonders die Einsilber mit tieffrequenten Vokalbestandteilen werden betroffen. Die geschlossenen Vokale Ū, Ō und Ā sind oberhalb von 1ooo Hz nicht mehr durchweg zu erkennen.

Sätze:

Tiefpaß: Die Verständlichkeit der Sätze liegt zwischen der der Einsilber und Zahlen .Markant ist die Frequenz

2800 Hz, von der ab erst sich ein Verlust hoher Schallanteile verständnismindernd auswirkt.Bei 1000 Hz werden noch 91 % der Sätze richtig nachgesprochen. Bis 500 Hz vermindert sich das Verständnis über zwei Oktaven nur um 30 %. Der Hauptabfall ist zwischen 500 Hz und 250 Hz zu finden. In diesem Bereich ist nur bruchstückhaftes Verstehen die Regel. Ausnahmen machen Wörter mit vorwiegend tieffrequenten Lauten.

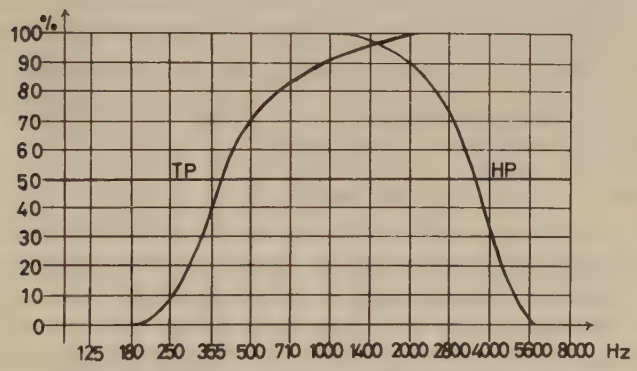


Abb.7 Das Testsatzverständnis als Funktion der oberen(TP) und unteren(HP) Grenzfrequenz

Hochpaß: Tiefenbeschneidung beeinflußt die Sätze eher als Höhenbeschneidung. Ausfiltern der Frequenzen bis 1000 Hz bedingt noch kein bedeutend erschwertes Verstehen. Stufenweises Heraufsetzen der unteren Grenzfrequenz führt über zwei Oktaven zu völligem Verständnisverlust.

Beide Kurven nähern sich der Form einer Hyperbel mit dem Schnittpunkt bei 1400 Hz und 95 % Verständnis. Wie aus Abbildung 8 zu ersehen ist,liegt die Zahlenkurve mehr baßwärts,die Einsilberkurve am meisten sopranwärts. Die Satzkurve verläuft etwa zwischen ihnen zur Zahlenkurve hin. Einem 100%igen Zahlenverständnis entspricht bei

71o Hz oberer Grenzfrequenz 85 % Satzverständnis. Beträgt dies 1o %,versteht man Zahlen noch zu 5o %.Auffällig ist andererseits bei Hochpaß die benachbarte Lage von Zahlen-und Satzkurve.Sätze werden bei unteren Grenzfrequenzen zwischen 1ooo Hz und 35oo Hz sogar besser verstanden als Zahlen, deren Werte bis zur unteren Grenze von 56oo Hz um 5 % unter denen der Satzkurve bleiben. Nach Ausfilterung der tiefen Frequenzen sind also Zahlen und Sätze gleich gut oder schlecht zu verstehen. Das Zahlenerkennen läßt hier auf das Satzverständnis schliessen.Umgekehrt kann man sagen, daß die Zahlen bei Tiefenbeschneidung stärker geschädigt werden als Sätze, was wohl auf dem Fehlen tiefer Formantbereiche beruht.Denn die Vokalformanten sind für das Zahlenverständnis ausreichend, aber auch ausschlaggebend.

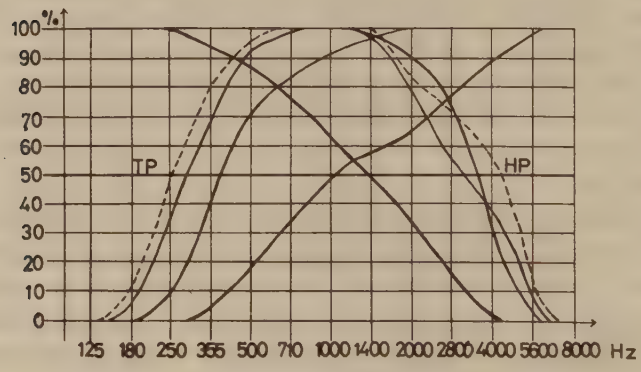


Abb.8 Verständniskurven von Zahlwörtern, einsilbigen Hauptwörtern und Sätzen ohne Geräuschzumischung

Dagegen hängt das Satzverständnis, wie die Höhenbeschneidung erwies, von der Wiedergabe der Konsonanten und damit der hochfrequenten Anteile ab.

Vergleicht man die Beeinflussung von Sätzen und ein-

silbigen Hauptwörtern durch Frequenzbeschneidung, so ergibt sich, daß dem gleichen Einsilberverständnis bei Hoch-und Tiefpaß,z.B.2o %, ein abweichendes Satzerkennen entspricht, welches bei Höhenbeschneidung trotz der rascheren Verständniseinbuße etwa 1o % besser ist. Im ganzen leiden die Sprachelemente durch Löschen der unteren Schallanteile mehr.

Da noch heute die meisten Gehörprüfungen bei bestmöglicher Stille veranstaltet werden,interessiert es sehr zu erfahren, wie sich Geräuschbeimischung,also Nachahmung der akustischen Verhältnisse auf der Straße, am Arbeitsplatz etc. auf das festgestellte Restgehör auswirkt.Im natürlichen Milieu sind immer Umweltgeräusche vorhanden, deren Hauptenergie im Bereich unter 5oo Hz entsteht. Sie werden den Schwerhörigen dann behindern, wenn seine Hörgrenze in Richtung auf die tieferen Schallanteile gesunkenist, da es zur Überdeckung dieses Bereiches kommt. Patienten mit vorwiegender Tieftonschwerhörigkeit verstehen im ganzen schlecht, aber gleichzeitig werden bei ihnen wie durch ein Hochpaßfilter störende Geräusche ferngehalten, was dann praktisch das Gehör verbessert.So hören sie zum Beispiel im Eisenbahnabteil besser als Normalhörende (Paracusis Willisi).

III. Messungen im freien Schallfeld bei Zumischung von Hintergrundgeräusch

1. Versuchsanordnung

Um die Situation des Hochtonschwerhörigen nachzuahmen, mischten wir über Tonband charakteristische Umweltgeräusche der frequenzbeschnittenen Sprache bei.Gemessen wurde im freien Schallfeld.Die Geräuschlautstärke mittels Schallpegelmesser EZGN,BN 45o3(Rhode und Schwarz,München) auf 5o Din Phon geeicht.Ebenso die Sprachlautstärke auf 5o dB. Wir wählten eine Lautstärke, bei der ohne Zu-

mischung eines Hintergrundgeräusches und ausgeschalteten Einzelfiltern aber wirksamer Grunddämpfung noch alle Einsilber verstanden wurden.

Es wurde nur die Verständlichkeitsminderung durch Änderung der oberen Grenzfrequenz(Tiefpaß) untersucht.

Das Hintergrundgeräusch war am 2o.3.61 mit Telefunken Magnetophon-Gerät M 24 und 6 dB unter Vollaussteuerung aufgenommen worden: Hauptenergie bei 25o Hz, oberhalb 25o Hz abfallend mit etwa 8 dB pro Oktave. 19 cm/sec Bandgeschwindigkeit, Vollspur.Sprache und dieses Hintergrundgeräusch wurden dem Probanden durch je einen Lautsprecher bei 2 m Entfernung vom Ubertragungsgerät zugeschickt.

Zur Wiedergabe des Sprachgutes diente die erwähnte Kombination von Audiometer SPD/5 ,PHONAK-Universal - Stereo-Sprachaudiometer mit elektrischen Filtern und Verstärker, der über einen 3-Ohm-Widerstand an den Lautsprecher gekoppelt war.Untersucher ,Gerät und Proband befanden sich im gleichen Raum.

Vor jeder Untersuchung überprüften wir anhand des Schallpegelmessers den Sprachschall-und Geräuschpegel am Ohr der Prüfperson.

In der kurzen Pause, die das Umschalten des Filters verursachte, ertönte das Hintergrundgeräusch weiter, weil bei erneutem Einschalten zu sehr auf dieses geachtet würde. Die Gefahr des "Einhörens" vermieden wir durch grosse Sprünge in der Wahl der oberen Grenzfrequenz.

2. Versuchsergebnisse

		Hz	500	710	1000	1400	2000	2800	4000	5600	8000	12000
EINSILBER		%Verständnis			2,5	8,5	20,5	30,0	43,7	55,7	73,8	85,6
		s			4,8	7,8	6,0	7,6	6,1	11,4	8,0	5,8
ZAHLEN		%Verständnis	1,5	14,0	30,0	56,5	89,0	94,0				
		s	4,8	7,9	5,7	4,6	8,7	4,8				
		mit Verhören	7,0	25,7	50,0	65,2	90,6	94,5				
		s	8,2	4,6	5,0	6,4	5,6	0				
SÄTZE		%Verständnis			7,7	39,5	74,6	98,7				
		s			3,5	12,5	10,3	2,3				

Messungen im freien Schallfeld bei Zumischung von Hintergrundgeräusch. Nur Tiefpaß

3. Graphische Darstellung und Auswertung

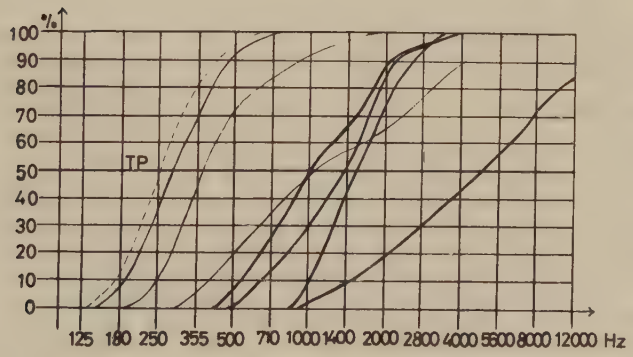


Abb.9 Verständniskurven von Zahlen, einsilbigen Hauptwörtern und Sätzen bei Geräuschzumischung

Die Werte für Hören im Geräusch weichen deutlich von den im störschallfreien Prüfraum gewonnenen ab.
Zahlwörter: Sie reagierten relativ am stärksten, blieben aber wiederum am längsten verständlich. Die Verständnismaxima zeigen gegen die ohne Geräusch gewonnenen Vergleichskurven eine Parallelverschiebung um 2 Oktaven nach rechts. Im umschriebenen Frequenzgebiet von 2400 Hz bis 4000 Hz werden sie schlechter erkannt als Sätze.

Unter geräuschfreien Verhältnissen fanden wir zwischen 500 und 800 Hz oberer Grenzfrequenz über Kopfhörer 90 % Zahlenverständnis. Wie oben festgestellt, ist der Hauptanteil der natürlichen Umgebungsgeräusche durch die unterhalb dieser Werte befindlichen Frequenzen charakterisiert. Erwartungsgemäß wird das Verständnis erheblich verschlechtert und die kritische Grenzfrequenz sopranwärts verlagert. Die Wahrnehmbarkeit der Zahlen sinkt bei Ausfiltern der Sprachanteile oberhalb 710 Hz auf weniger als 20 % ab; ein Hinweis auf den diakritischen Wert gerade der tiefen Formantbereiche für das Zahlenverstehen.
Sätze: Auch die Satzverständlichkeit hängt wesentlich von der Wiedergabe tiefer Frequenzen ab. Sätze verstand man mit und ohne Geräusch bei 2800 Hz als oberer Grenze vollkommen. Ohne Geräusch betrug der kritische Wert 250 Hz. Unter 2800 Hz kommt es im Geräusch zu über 30 % Einbuße pro Halboktave, so daß schon bei 1000 Hz oberer Grenzfrequenz nicht einmal mehr 10 % verstanden wurden.
Einsilber: Ihre Kurve rückte durch Geräuschzumischung um 11/2 bis 2 Oktaven nach rechts, d.h., werden ohne Geräusch bei 1000 Hz 50 % verstanden, so verhindert Geräuschzumischung jegliches Verstehen. Es fällt auf, daß selbst bei 12000 Hz oberer Grenzfrequenz nicht alle vorgetragenen Wörter einwandfrei nachgesprochen werden.

Entscheidend für das Einsilberverständnis sind nicht so sehr die tiefen Töne, da auch ohne Geräusch bei 1000 Hz nur 50 % verstanden werden, sondern vielmehr die hohen Anteile des Spektrums, in die diakritische Konsonanten

lokalisiert sind. Einsilber sind also im Geräusch be - sonders schwer zu verstehen.

Im Umweltgeräusch kommt es zur Annäherung des Ver - ständnisses von Zahlen und Sätzen, wohingegen Satz-und Einsilberkurve sich zunehmend voneinander entfernen.

IV. Diskussion

Unsere Ergebnisse des ersten Untersuchungsteiles bestä - tigen im allgemeinen die in der Literatur genannten Wer- te. Einige deutliche Abweichungen dürften von methodisch- technischen und sprachlichen Gegebenheiten mitverursacht sein.

So ist bekanntlich die Flankensteilheit ein maßge - bender Faktor.Geringe Steilheit führt dazu, daß durch Mithören benachbarter Schallteile die eingestellte Grenz- frequenz nicht gewährleistet ist, was sich dann, etwa bei QUIST-HANSEN, STRÖMSNES und BOCCA, in einem wesent - lich"besseren" Einsilberverständnis äußert.Demgegenüber erreichte OEKEN nach zweimaliger Filterung, daß fast nur bis zur gewählten Grenze gehört wurde.Daher verlaufen seine Kurven - obwohl der Test mit 8o statt 5o dB durch- geführt wurde - von unseren um 1/2 bis 1 Oktave nach rechts versetzt, d.h. das Verständnis ist schlechter. Auch verzeichnet er bei nur geringer Höhenbeschneidung einen steileren Abfall.

Der durch schwieriges Testmaterial - wozu auch OEKEN die einsilbigen Hauptwörter des Freiburger Tests zählt - bedingte Hauptabfall des Verständnisses zwischen 25oo und 16oo Hz kam in unseren Untersuchungen nicht zum Vor- schein. Unsere Kurven nähern sich eher den von FLETCHER gewonnenen, zumal bei Tiefpaß.Seine Kurven bleiben im Schnitt mit 1o % Verständnisunterschied bis 1ooo Hz unter unseren Werten, und nach oben um dieselbe Rate darüber.

Bei Hochpaß steigt die Differenz, was zu einem Teil damit erklärt werden kann, daß FLETCHER zu seinen Meß-

ergebnissen 5 % für Unaufmerksamkeit oder Hörfehler addiert. Aufgrund unserer Versuchsanordnung erzeugte schon das Aussieben der Frequenzen von 250 - 500 Hz 15% Diskriminationsverlust bei Einsilbern.

OEKEN macht auf das bessere Normalverständnis der französischen, schwedischen und englischen Sprache aufmerksam und weist auf den hohen Schwierigkeitsgrad der deutschen Hauptwörter hin. Uns erscheint dieser Unterschied nicht so erheblich.

Wie HAHLBROCK fanden wir auf der Grundlage des Freiburger Tests bei 250 Hz oberer Grenzfrequenz für zweistellige Zahlwörter noch teilweises Verständnis, auch wenn nach unseren Messungen erst nach Unterschreiten dieser Frequenz die Verständnisrate rasch von 40 auf unter 10 % fällt.

Damit wäre die absolute Grenze jeglicher Verständlichkeit mit 150 Hz anzugeben, obgleich wir auch hier über OEKENs Ergebnissen liegen.

Schon STUMPF bemerkt, daß der Sinn zusammenhängender Sätze noch lange auffaßbar blieb, nachdem viele Einzelbestandteile unkenntlich geworden waren. Mit einem speziellen sprachaudiometrischen Satztest haben wir diese Beobachtung bestätigt.

Der von DEVAUX-CHARBONNEL als unentbehrlich angegebene Bereich von 800 bis 1200 Hz scheint zu eng bestimmt, weil gerade die fehlenden hohen Anteile das Einsilber- und Konsonantenverständnis schmälern. Wir halten die Frequenzen von 700 bis 1500 Hz für entscheidend. Das entspricht weitgehend den Mitteilungen von FOWLER, SABINE, MASPETIOL, SIEDLER und WEDENBERG.

Unter Berücksichtigung des Einsilberverständnisses kommen wir entgegen WAGNER, OEKEN, KAINZ zum Schluß, daß auf den Tonbereich oberhalb 4000 Hz nicht ohne Einbuße an Übertragungsqualität verzichtet werden kann; daß vielmehr für eine einwandfreie Aufnahme mindestens die Frequenzen zwischen 250 und 6000 Hz gehört werden müssen. Für einen komplizierten Text sind die von MEYER geforderten 8000 Hz vonnöten.

Unterhalb dieser Frequenz werden sehr bald die Einsilber, bei 2800 Hz die Sätze und erst ab 710 Hz die Zahlen durch Höhenbeschneidung vom Verständnisverlust betroffen. Bis 710 Hz ist das Einsilberverständnis schon auf 30 % gesunken, das der Sätze auf 85 %.

Bei Prüfungen im störschallfreien Raum darf also nicht von noch vorhandenem Zahlenverständnis auf ein gleichwertiges Satz- und Einsilberverständnis geschlossen werden.

Die Untersuchung des Einflusses von Geräusch auf das Verständnis hat erwiesen, daß die Übertragung bis 8000 Hz für einen Innenohrschwerhörigen nicht ausreicht, um die drei Testkategorien fehlerlos zu verstehen, wenigstens nicht für zusammenhängende einsilbige Hauptwörter, die in einem Raumgeräusch von 40-50 Phon (ca 50 dB) gedämpft gesprochen werden. Sogar bei einer oberen Grenzfrequenz von 12000 Hz wurden sie nicht einwandfrei wiedergegeben.

Auf Zahlen und Sätze wirkt das Geräusch erst ein, wenn das Resthörvermögen nur bis 4000 Hz bzw. 2800 Hz reicht. Der Verständnisverlust im Geräusch kann durch gegebene Kombinationsmöglichkeiten etwas kompensiert werden.

Prüfungen im stillen Raum reichen nicht hin, wenn das wahre Hörvermögen Innenohrgeschädigter in alltäglichen Lebenssituationen beurteilt werden soll, da dort zu Hochtonschwerhörigkeit noch der Verlust tieferer Sprachanteile durch das verdeckende Umgebungsgeräusch hinzukommt. Verläßliche Auskunft ist also nur von Prüfungen "im Geräusch" zu erwarten.

Besondere Bedeutung hat diese Einsicht im Rahmen der Begutachtung berufsbedingter Schwerhörigkeiten, da Hörschädigungen mit Steilabfall der Audiogrammkurve in unserer technisierten Welt zunehmen.

Zusammenfassung

Die bisherigen Untersuchungen über Frequenzbeschnei - dung der Lautsprache und die Abhängigkeit des Sprachverständnisses von der oberen bzw. unteren Grenzfrequenz werden eingangs geschildert.

Die eigenen Untersuchungen auf der Grundlage des Freiburger Sprachtestbandes und des Marburger Satzverständnistestes mit 12oo Messungen an 3o Normalhörenden bezweckten, die Verständlichkeit von Zahlwörtern, Einsilbern und Sätzen bei stufenweiser Herabsetzung der oberen Grenzfrequenz (Tiefpaß),oder Heraufsetzen der unteren Grenzfrequenz (Hochpaß) zu bestimmen.

Im allgemeinen bestätigen die mit beschriebener Versuchsanordnung gewonnenen Ergebnisse die in der Literatur genannten Werte.

Das Ausfiltern der hohen Frequenzen betrifft zuerst die einsilbigen Hauptwörter, dann die Sätze und am schwächsten die zweistelligen Zahlwörter.Bei 71o Hz oberer Grenzfrequenz (Tiefpaß) werden die Zahlen zu 1oo %, Sätze zu 85 % und Einsilber zu 35 % verstanden.Bei 355 Hz betragen die entsprechenden Werte 85 %,4o % und weniger als 1o %. Die Zahlen werden also hauptsächlich an den tieffrequenten Vokalformanten, die Einsilber im wesentlichen an den hochfrequenten Konsonantenformanten erkannt. Sätze sind durch beide Formantbereiche charak - terisiert.

Bei Tiefenausfilterung (Hocnpaß) sind Sätze und Zahlen gleich schwer verständlich, ein weiterer Hinweis auf die tiefen Frequenzen als diakritische Merkmale der Zahlen. Besonders früh und stark betroffen ist die Erkennbarkeit der einsilbigen Hauptwörter.

An 2o Personen wurde in 35o Einzelmessungen der Einfluß eines standardisierten, 5o Phon lauten Hintergrundgeräusches auf nur höhenbeschnittene Sprache (Tiefpaß) untersucht.

Es zeigte sich, daß das Umweltgeräusch das Sprachverständnis um so stärker behindert, je weiter das Hörvermögen in Richtung auf die tiefen Frequenzen abge -

nommen hat. Die Verständlichkeit der Einsilber wird generell, die der Zahlwörter ab 4ooo Hz und die Satzverständlichkeit ab 28oo Hz durch Geräusch betroffen.

Abschließend ist zu folgern, daß die Hörprüfungen von Innenohrschwerhörigen, deren Hörverlust hauptsächlich den oberen Frequenzbereich betrifft, ohne Reproduktion des natürlichen akustischen Milieus im Untersuchungsraum keine verläßlichen Angaben über den wirklichen Grad der Schwerhörigkeit zulassen.

Literaturverzeichnis

1) BERENDES,J.u. NIEMEYER,W. Audiometrie,Schwerhörigkeit,Hörgeräteanpassung; Lehmann Verlag,München 1960

2) BEZOLD,F. Schema für die Gehörprüfung des kranken Ohres;Zschr.Ohr.Hk.33(1898),165

3) BEZOLD,F. Lehrbuch der Ohrenheilkunde J.F.Bergmann,Wiesbaden ,1906,81 f

4) BOCCA,E. CALEARO,C. CASSINARI,V. MIGLIAVACCA,F. Testing"Cortical" Hearing in Temporal Lobe Tumours;Acta oto-laryng. Stockholm,45 (1955),289

5) BRÜNINGS,W. Wissenschaftliche Grundlage der Korrektur von Hörfehlern;Zschr.Ohr. Hk.15 (1926),318f,328-330

6) BRÜNINGS,W. Diskussionsbemerkung zu PERWITZSCHKY: Ein neues Prinzip der Hörverbesserung Zschr.Ohr.Hk. 12(1925), 597 - 599

7) DEVAUX-CHARBONNEL Zitiert nach OEKEN(32)

8) ESSEN,O.v. Allgemeine und angewandte Phonetik Akademie verlag,Berlin 1962,3.Aufl. 189

9) FLETCHER,H. Zitiert nach OEKEN (32)

10) FLETCHER,H. A method of calculating hearing loss for speech from audiogram;Acta otolaryng.Stockholm,Suppl.90(1950),26

11) FOWLER,E.P. A simple method of measuring percentage of capacity of speech; Arch.Oto-aryng. 36 (1942),874

12) HAHLBROCK,K.H. Kritische Betrachtungen und vergleichende Untersuchungen der SCHUBERTschen und Freiburger Sprachteste; Zschr.Laryng.Rhinol.39(1960),102 f, 108-111

13) HAHLBROCK,K.H. Über Sprachaudiometrie und neue Wörterteste;Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk. 162 (1952/53)

14) HAHLBROCK,K.H. Sprachaudiometrie; Georg Thieme Verlag, Stuttgart,1957,48 ff

15) HAHLBROCK,K.H. Klinische Erfahrungen mit der Sprachaudiometrie;Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk. 165 (1954),314

16) HERMAN,L. Zitiert nach OEKEN (32)

17) HIRSH,I.J. Psychophysics of Hearing;Acta otolaryng.Stockholm,40 (1951/52),273

18) HIRSH,I.J. REYNOLDS,E.G. JOSEPH,M. — Intelligibility of different speech materials; J.Acoust.Soc.Amer. 26 (1954),53o

19) HUIZING,H.C. — Triplet speech audiometry; Int.Audiol. 1 (1926),189

2o) HUIZING,H.C. TASELAAR,M. — Triplet speech audiometry,an approach to hearing aid fitting and an analytic base; Acta oto-laryng.Stockholm, Suppl.14o (1958),16o

21) HUIZING,H.C. KRUISINGA,R.I.H. TASELAAR,M. — Tripletaudiometry; Proc.Int.Soc. Audiol.4 (1959),92

22) HUIZING,H.C. KRUISINGA,R.I.H. TASELAAR,M. — Tripletaudiometry; Acta oto-laryng. Stockholm,51 (196o),256

23) KAINZ,F. — Psychologie der Sprache,Bd.III,366 ff, 381; F.Enke Verlag,Stuttgart,1954

24) LEHISTE,J. PETERSON,G.E. — zitiert nach OEKEN (32)

25) LIDEN,G. FANT,G. — Swedish word material for speech audiometry and articulation tests; Acta oto-laryng.Stockholm,Suppl.116 (1954),189,191,2o1

26) MARX,H. — zitiert nach OEKEN (32)

27) MASPETIOL,R. ROBERT,P. SEMETTE,D. — Le Phénomène de Suppléance Phonémique Auditive; Acta oto-laryng.Stockholm, Suppl.49 (1958),325

28) MATZKER,J. — Zentrale Sprachaudiometry; Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk.169 (1956),373 f

29) MATZKER,J. — The "Binaural" Test;Int.Audiol.1 (1962),2o9

3o) MEYER,E. — Elektroakustische Übertragungsanlagen; Akustica 4,(1954),53

31) NIEMEYER,W. BECKMANN,G. — Ein sprachaudiometrischer Satztest; Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk.18o(1962),742

32) OEKEN,F.-W. — Schallaufbau der Sprachlaute, Probleme der Frequenzbeschneidung und Frequenztransposition der Sprache sowie Anwendung der Transposition zur Hörverbesserung; Habil.Schrift Med.Leipzig 1962,82 f

33) QUIST-HANSEN,S. STRÖMSNES,A. — Speech Audiometry in Persons with Brain Damage;Acta oto-laryng.Stockholm, Suppl. 158 (196o),272

34) SABINE,P.E. — On Estimating Percentage of Loss of useful Hearing; Trans.Amer.Acad. Ophtal.Otolaryng. 46(1942),179

35) SIEDLER,G. — Bedeutung bestimmter Tonfrequenzbänder; Zschr.Angew.Physik 15(1961),275 f

36) STÖPPLER,S. Die Behandlung der verschiedenen Formen von Schwerhörigkeit und von Tinuitis durch kombinierte Anwendung von Vit.A und E. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk.169(1956),335

37) STUMPF,S. Die Sprachlaute;Springer Verlag 1926

38) WAGNER,K.W. in Lehrbuch der Physik,Bd.1,14.Aufl., 637,Hrsg.von GRIMSEHL/THOMASCHEK, Leipzig-B.G.Teubner,Berlin,1944

39) WEDENBERG,E. Auditory Training of Deaf and Hard of Hearing Children; Acta oto-laryng. Stockholm,94 (1951),7-9

4o) WEDENBERG,E. Auditory Training of severely Hard of Hearing Pre-School Children;Acta oto-laryng.Stockholm,Suppl.11o(1954), 9,142

41) WIEN,M. Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für verschiedene Töne verschiedener Höhe; PFLÜGERs Arch. ges.Physiol.97 (19o3),1

42) WINCKEL,F. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.Hk.175 (1959), 391

43) WOLLASTON,W.H. zitiert aus BEKÉSY,G. und ROSENBLITH, W.A. : The Early History of Hearing - Observation and Theories; J.Acoust. Soc.Amer.2o (1948),745

Lebenslauf

Als Sohn des Arztes Dr.med.Heinz-Joachim Schiemann und seiner norwegischen Ehefrau Liv,geb.Einersen,wurde ich am 24.11.38 in Kiel geboren.

Volksschulbesuch von August 1944 bis Anfang 1947 in Kappel im Schwarzwald. Danach 2. und 3. Volksschulklasse bis Ende November 1948 in Kristiansand (Südnorwegen).Nach Rückkehr wurde Lübeck ständiger Wohnsitz.Weiterer Besuch der Grundschule bis 1951. 1959 Reifeprüfung am Gymnasium Johanneum zu Lübeck,neusprachlicher Zweig. Bis 1.3.1960 Militärdienst.

Im Sommersemester 1960 Beginn des Medizinstudiums in Hamburg; hier März 1963 ärztliche Vorprüfung. Gesamtes klinisches Studium in Marburg a.d.Lahn. Medizinisches Staatsexamen am 14. Oktober 1966 mit der Note 'gut'. Ab Januar 1967 Medizinalassistent in Berlin.

Meine akademischen Lehrer in Hamburg waren die Herren Professoren und Dozenten:

Bautzmann, Brahmstedt, Dunker, Heinrich, Heyns, Hilz, Horstmann, Kosswig, Kühnau, Lierse, Mevius, Müller, Neuert, Reichel, Remy, Staubesand.

In Marburg an der Lahn:

Beckmann, Berendes, Braun-Falco, Buchholz, de Mesnil de Rochemont, Dölle, Exner, Falke, Gedigk, Hamm, Hardewig, Hartmann, Heuser, Hildebrandt, Hornung, Huber, Jacob, Lang, Linneweh, Löhr, Lübbers, Mann, Martini, Marx, Neubauer, Overbeck, Petzold, Poetsche, Rodeck, Rohen, Salfeld, Sauer, Schiff, Schleyer, Schmid, Schölmerich, Schwaiger, Siegert, Siess, Stender, Straub, Streicher und Würterle.

An dieser Stelle möchte ich meinen verehrten Lehrern dafür danken, daß sie mich durch das Studium zum Staatsexamen geführt haben und mir eine gute Ausbildung zukommen ließen.